

# Eléments de Physique des composants électroniques

Pr. Z. Hafdi-Nabti  
Département Socle Commun en Sciences et Technologies  
z.hafdi@univ-batna2.dz



*Semestre: 4-SC\_ST*

*Unité d'enseignement: UED 2.2*

Matière: **Éléments de Physique des composants électroniques**

VHS: 22h30 (Cours: 1h30), Crédits: 1, Coefficient: 1

**Objectifs de l'enseignement:**

Faire acquérir à l'étudiant les notions de base permettant de comprendre la physique des semi-conducteurs et enfin le fonctionnement des composants à base de semi-conducteurs.

**Connaissances préalables recommandées**

Notions de base sur la physique de l'atome.

**Contenu de la matière :**

*Le nombre de semaines affichées sont indiquées à titre indicatif. Le responsable du cours n'est pas tenu de respecter rigoureusement ce dimensionnement ou bien l'agencement des chapitres. Veiller autant que faire se peut d'aller à l'essentiel des phénomènes sans trop s'étendre sur les détails.*

**Chapitre 1: Notions de physique des semi-conducteurs**

**Chapitre 2 : Jonction PN**

**Chapitre 3 : Transistor bipolaire**

**Chapitre 4 : Transistor à effet de champ**

## Références bibliographiques

1. H. Mathieu, « Physique des semiconducteurs et des composants électroniques », 6e édition, Dunod, 2009.
  2. M. Mebarki, « Physique des semiconducteurs », OPU, Alger, 1993.
  3. C. Ngô et H. Ngô, « Physique des semi-conducteurs », 4e édition, Dunod.
  4. J. Singh, "Semiconductors Devices: An Introduction", McGraw Hill, 1994.
  5. D.A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles", McGraw Hill, 2003.
  6. McMurry and Fay, "Chemistry; Prentice Hall", 4th edition, 2003.
- [http://www.magoie.net/magoie\\_cours\\_electronic\\_o1.pdf](http://www.magoie.net/magoie_cours_electronic_o1.pdf)
- <https://slideplayer.fr/slide/1213989/>
- <http://bravo.univ-tln.fr/en/6-EN1-Semiconducteurs.pdf>
- <http://users.polytech.unice.fr/~pmasson/Enseignement/Cours%20de%20physique%20des%20SC%20-%20SLIDES%20-%20BAC+3.pdf>
- <http://culturesciences.chimie.ens.fr/print/1764?print=yes&nid=1764>
- <https://www.schoolap.com/lecons/1324/notion-sur-les-semi-conducteurs>

# Références bibliographiques

[https://campus.mines-douai.fr/pluginfile.php/13739/mod\\_resource/content/0/CH1\\_fr\\_mai\\_2013/co/cours\\_ch1\\_1\\_1\\_fr.html](https://campus.mines-douai.fr/pluginfile.php/13739/mod_resource/content/0/CH1_fr_mai_2013/co/cours_ch1_1_1_fr.html)

<https://fr.wikipedia.org/http://claude-gimenes.fr/electronique/semi-conducteurs/-v-diodes-a-semi-conducteur-jonctions-pn><https://www.electronique-radioamateur.fr/elec/composants/transistor-bipolaire.php>

<https://www.techniques-ingenieur.fr/>

[https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_2.html)

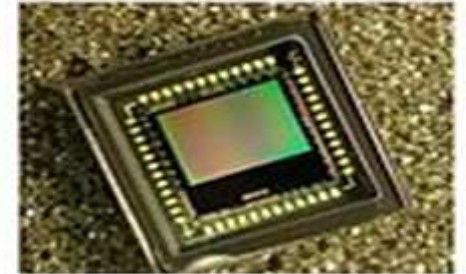
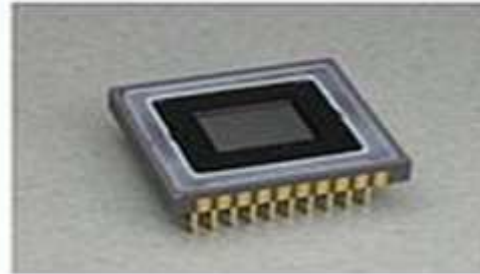
[http://lgt.garnier.free.fr/information/elec\\_analogique\\_fichiers/bipolaire.htm](http://lgt.garnier.free.fr/information/elec_analogique_fichiers/bipolaire.htm)

<https://fr.wikipedia.org/>

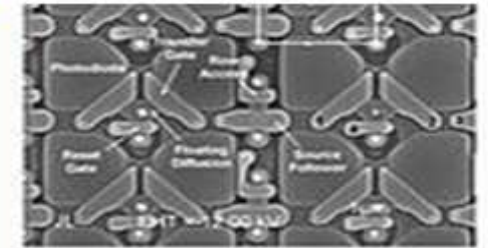
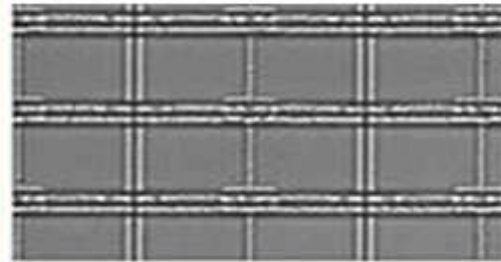
<http://homepages.laas.fr/fmathieu/Les%20transistors.pdf>

[https://www.emse.fr/~dutertre/documents/2\\_cours\\_MOS\\_2019.pdf](https://www.emse.fr/~dutertre/documents/2_cours_MOS_2019.pdf)

## COMPOSANTS



# Chapitre 1 : Notions de physique des semi-conducteurs



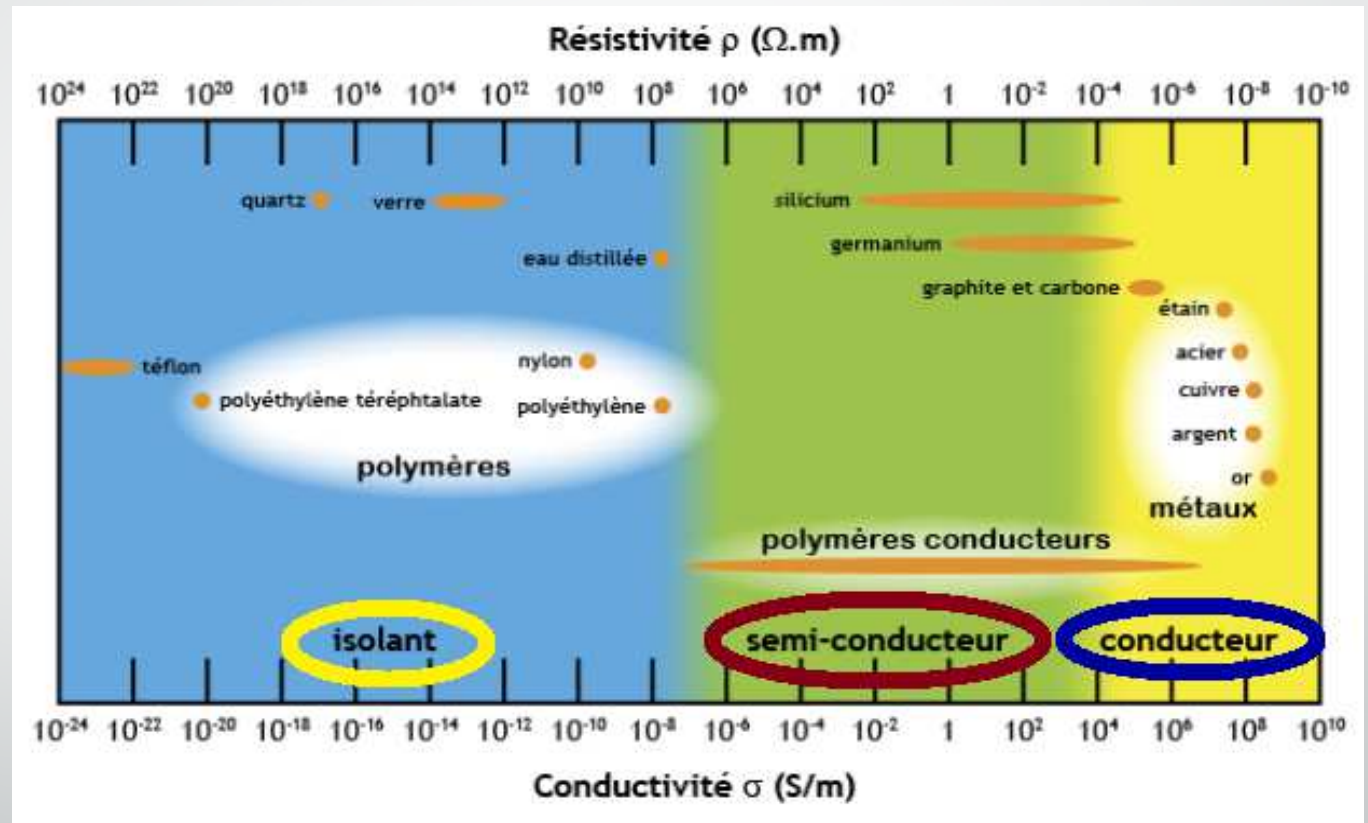
## MICROPHOTOGRAPHIE



# 1. Conducteurs, Isolants, Semiconducteurs

✓ La **qualification** d'un matériau **conducteur**, **semi-conducteur** ou **isolant** dépend de son **aptitude à conduire l'électricité**, c.à.d. de sa **conductivité  $\sigma$** , inverse de sa **résistivité  $\rho$** .

✓ Plus la conductivité est importante, plus le matériau est conducteur.



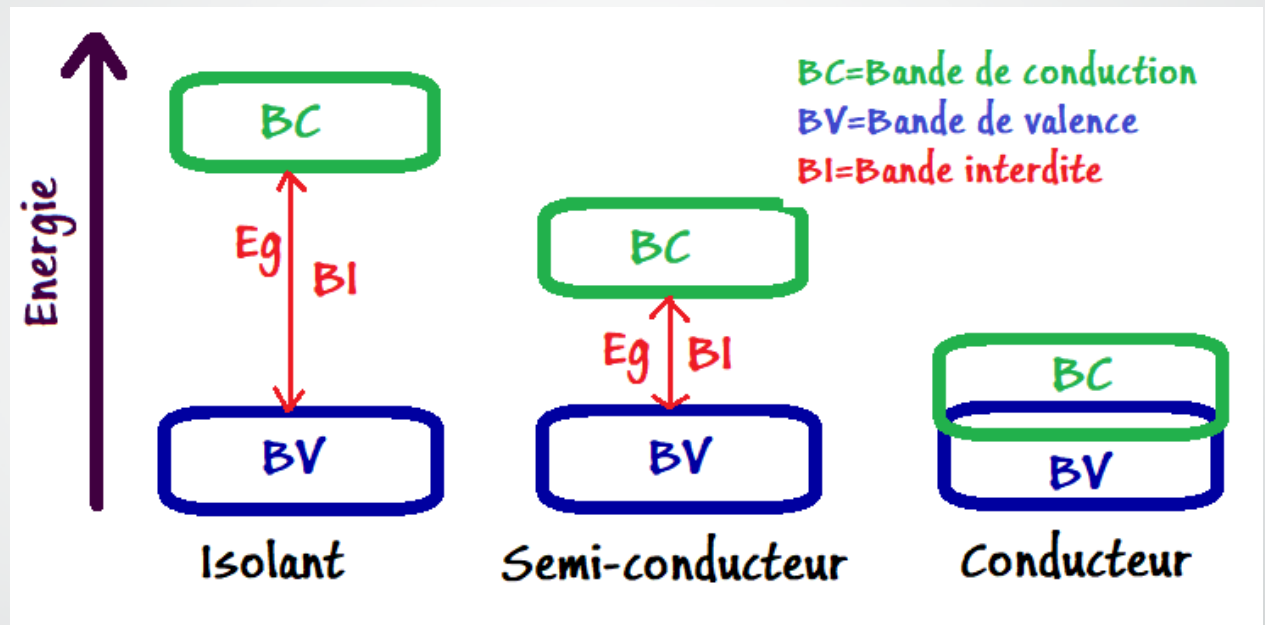
## 2. Bandes d'énergie

✓ La **théorie des bandes** traite de la modélisation **des valeurs d'énergie** que peuvent prendre les électrons à l'intérieur d'un solide.

✓ Elle stipule que les énergies de ces électrons ne sont **possibles que dans certains intervalles énergétiques**.

✓ Ces derniers sont séparés par d'autres, interdits, appelés **bandes interdites**, **écarts énergétiques** ou **gaps**, notés  $E_g$ .

✓ La répartition de ces bandes permet de différencier **l'aspect électrique** des matériaux **conducteurs**, **isolants** ou **semi-conducteurs**.



## 2. Bandes d'énergie

- ✓ Initialement, les électrons sont **dans la BV**.
- ✓ La capacité du matériau à **conduire de l'électricité** est conditionnée par la facilité de **passage de ces électrons vers la bande de conduction**.

### Pour les conducteurs

- ✓ La **conductivité est élevée**: la BC et la BV **se chevauchent** et les porteurs de charge (les électrons) circulent bien dans le matériau.  
Exemples: aluminium (Al), argent (Ag), cuivre (Cu).

### Pour les isolants

- ✓ La bande interdite **est large**.
- ✓ Les électrons sont **solidement** rattachés aux atomes de sorte que très peu d'électrons libres peuvent se déplacer.
- ✓ Dans des conditions normales, ces matériaux ne conduisent pas l'électricité.  
Exemples: silice (SiO<sub>2</sub>), mica, carbone (diamant).



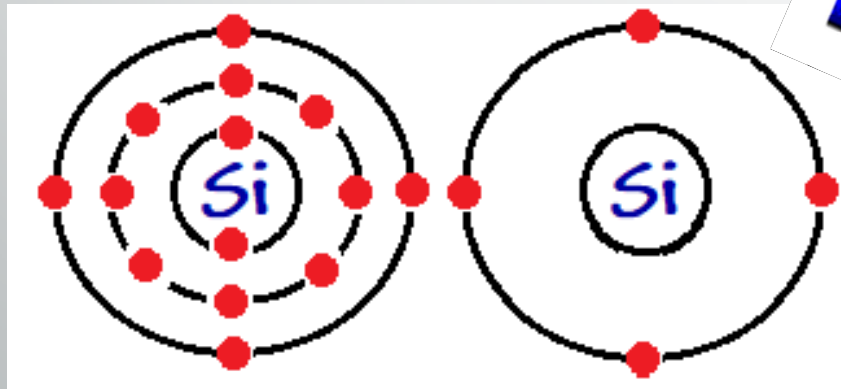
## 2. Bandes d'énergie

### Pour les semi-conducteurs (SC)

- ✓ La bande interdite est plus faible que celle d'un isolant.
- ✓ Ils ont une particularité importante: ils peuvent devenir conducteurs si une énergie suffisante est apportée (sous forme de champ électrique, chaleur, rayonnement...) pour faire passer des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction.
- ✓ Quand ils sont formés par un seul élément, les atomes possèdent quatre (04) électrons (e-) de valence.

## Exemples de semi-conducteurs

Colonne tableau périodique		Semi-conducteur (SC)
IV		Ge, Si
III-V	binaire	GaAs, GaP, GaSb, InAs, InP, InSb
	ternaire	$Al_xGa_{1-x}As$ , $GaAs_yP_{1-y}$
	quaternaire	$Al_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$
II-VI	binaire	CdS, HgTe, CdTe, ZnTe, ZnS
	ternaire	$Cd_xHg_{1-x}Te$



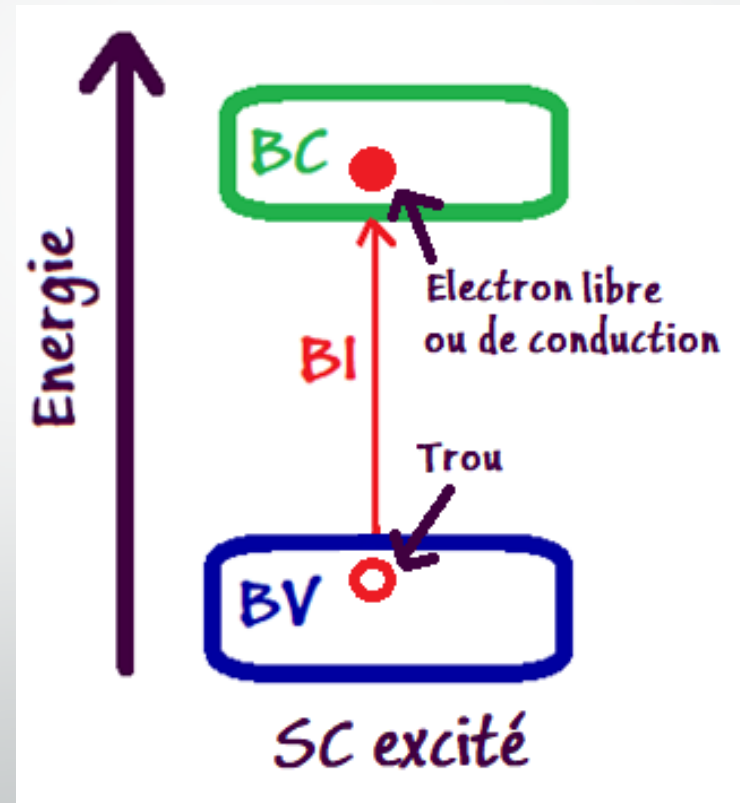
Cas du silicium: Numéro atomique **Z=14**

Rappelez-vous: nombre d'e-/couche  $n = 2.n^2$   
Donc 4 e- sur la couche périphérique (de valence) pour établir des liaisons.

### 3. Conduction dans les semi-conducteurs

#### Electrons de conduction et trous

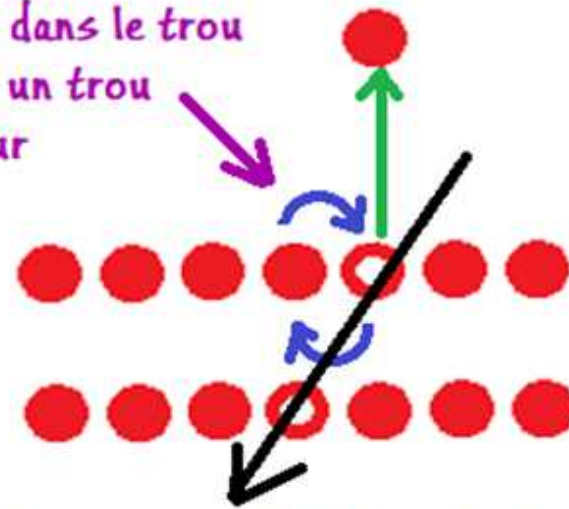
- ✓ Dans un SC **intrinsèque** (**pur**, qui ne contient pas d'impuretés), les porteurs de charge sont créés par **excitation thermique** et par **défauts cristallins**.
- ✓ Les électrons de valence **absorbent de l'énergie** pour passer **de la BV à la BC**.
- ✓ Les électrons dans la BC sont appelés électrons **libres** ou de **conduction**.
- ✓ Les 'vides' (absence d'électrons) qu'ils laissent dans la BV sont appelés **trous d'électrons** ou simplement **trous**;
- ✓ Le trou a une **charge positive** opposée à celle de l'électron.



## Courant d'électrons et courant de trous

- ✓ La circulation **des électrons** libres dans un matériau SC est appelé **courant d'électrons**.
- ✓ Le déplacement **de trous** (en fait non physique) dans la structure du SC est appelé **courant de trous**.

L'électron se déplace dans le trou à proximité, laissant un trou derrière lui à son tour et ainsi de suite...



*Comme si les trous se déplaçaient ...*

## 4. Semi-conducteurs extrinsèques

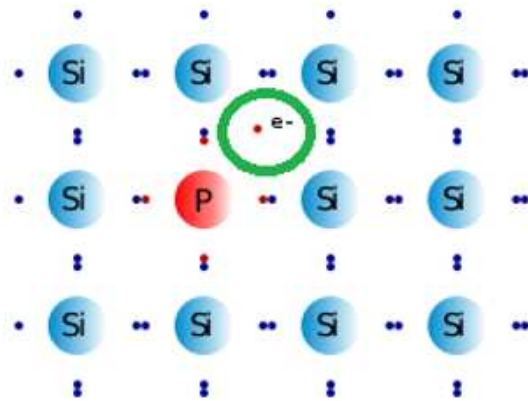
- ✓ Un SC **extrinsèque**, initialement intrinsèque, est un SC auquel on **a ajouté des impuretés**.
- ✓ Les impuretés ajoutent **des trous ou des électrons libres** au matériau de base, initialement **neutre électriquement**.
- ✓ Le procédé est une opération technologique appelée **dopage**, d'où le nom de **SC dopés**.
  - ✓ Le dopage a pour but **l'amélioration de la conduction d'un SC**.

### Semi-conducteurs de type N

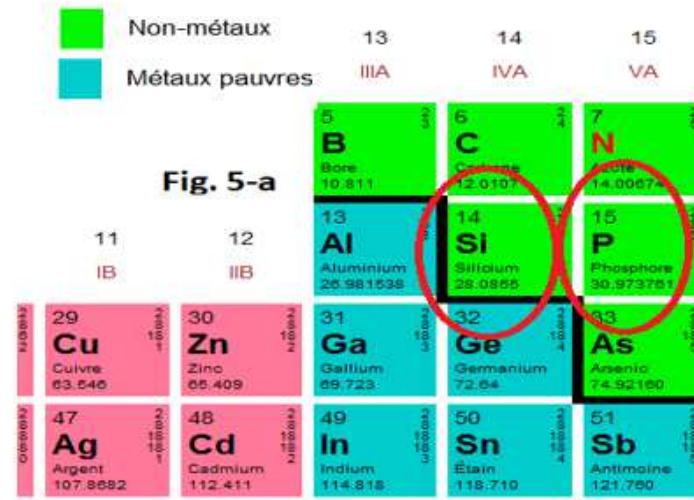
- ✓ Il s'agit de SC dans lesquels le **nombre d'électrons est augmenté**.
- ✓ Les impuretés sont des **atomes pentavalents (avec 5 e- de valence)**.
- ✓ Dans ces SC, les **e- sont majoritaires et les e+ sont minoritaires**. Il y a aptitude à produire un excès d'électrons. On parle **d'atomes donneurs  $N_D$** . Les SC sont alors **dopés N**,
- ✓ Exemple de dopants: l'arsenic (As), le phosphore (P), le bismuth (Bi) et l'antimoine (Sb).



# Semi-conducteurs de type N

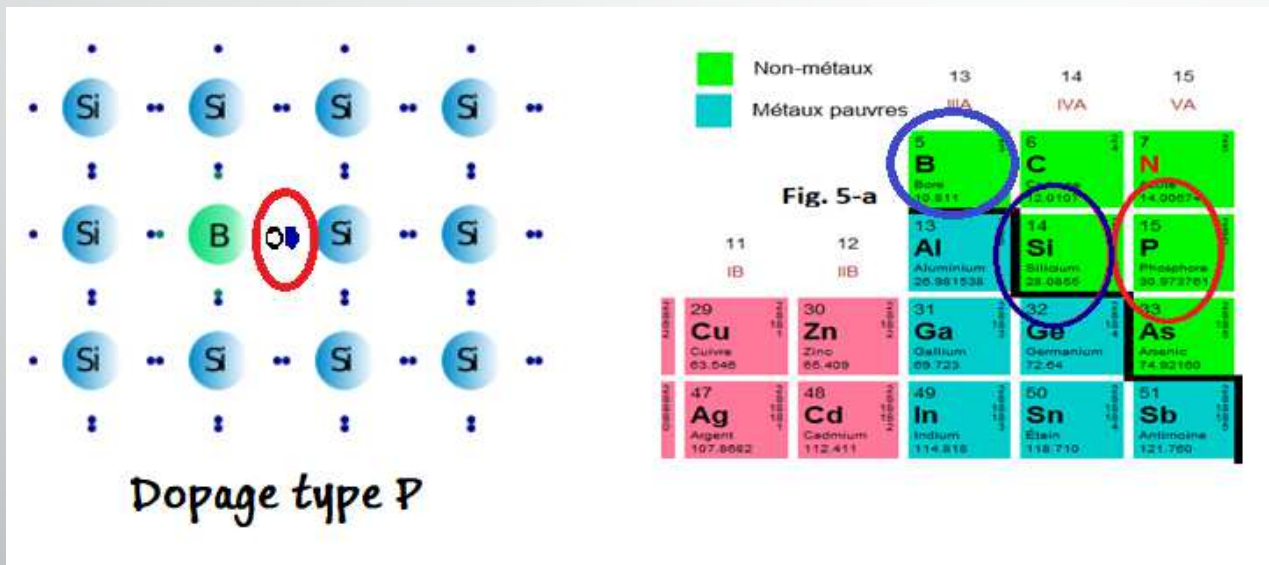


Dopage type N



## Semi-conducteurs de type P

- ✓ Il s'agit de SC dans lesquels le nombre de trous est augmenté.
- ✓ Les impuretés sont des atomes trivalents (avec 3 e- de valence).
- ✓ Dans ces SC, les e+ sont majoritaires et les e- sont minoritaires. Il y a aptitude à accepter un e- de valence et produire un excès de trous. On parle d'atomes accepteurs  $N_A$ . Les SC sont donc dopés P,



- ✓ Exemple de dopants:  
l'aluminium (Al),  
le bore (B)  
et la gallium (Ga).

## Conductivité

- ✓ C'est un paramètre qui indique **l'aptitude d'un matériau à conduire le courant électrique.**
- ✓ Le matériau est considéré **bon conducteur** d'électricité tant que sa **conductivité est importante.**
- ✓ Pour un semi-conducteur elle s'exprime comme suit:

$\mu_n$  : Mobilité des électrons

$\mu_p$  : Mobilité des trous

n: densité des électrons

p: densité des trous

$$\sigma = q ( n\mu_n + p\mu_p )$$

## Mobilité

- ✓ C'est un paramètre qui caractérise la faculté des porteurs de charge à se déplacer.
- ✓ Elle est constante à une température donnée.
- ✓ Elle est différente pour les électrons et pour les trous.

## Diffusion

- ✓ C'est le mouvement de particules dans un milieu, sous l'action d'un gradient de concentration, température... etc.

## Résistivité

- ✓ L'inverse de la conductivité, c'est un paramètre qui caractérise le pouvoir isolant d'un SC.
- ✓ Plus la résistivité est élevée, plus le SC est isolant.

## Relation d'Enstein

$$U_T = kT/q = D/\mu$$

D : Constante de diffusion

$U_T$ : Potentiel thermodynamique= 25.85 mV à 300°K

k: Constante de Boltzmann


T: Température ambiante

q: charge élémentaire

$\mu$ : mobilité

## Exemple:

Silicium:  $D_n$  : 31 cm<sup>2</sup>/s pour les électrons  
 $D_p$  : 13 cm<sup>2</sup>/s pour les trous

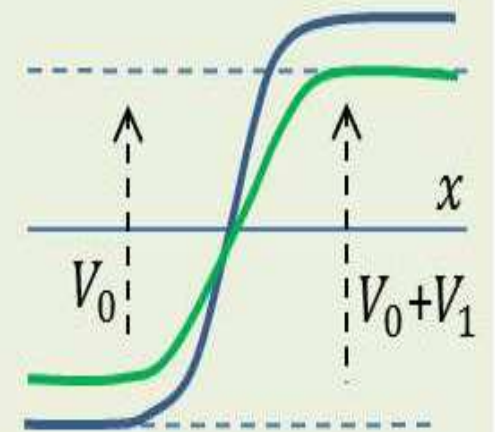
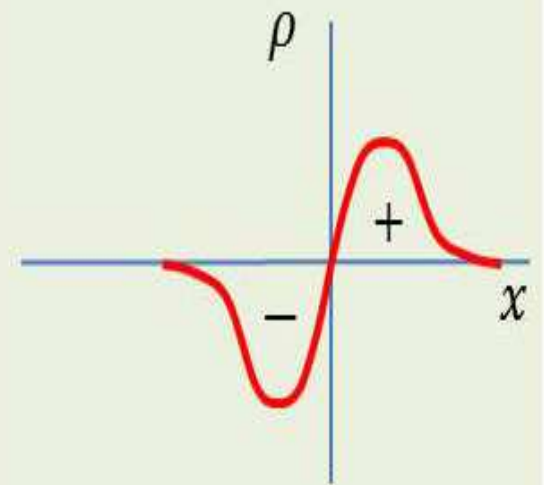
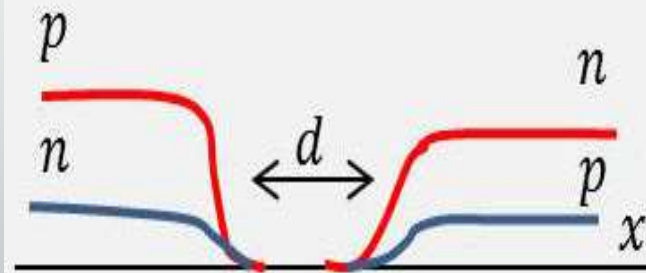
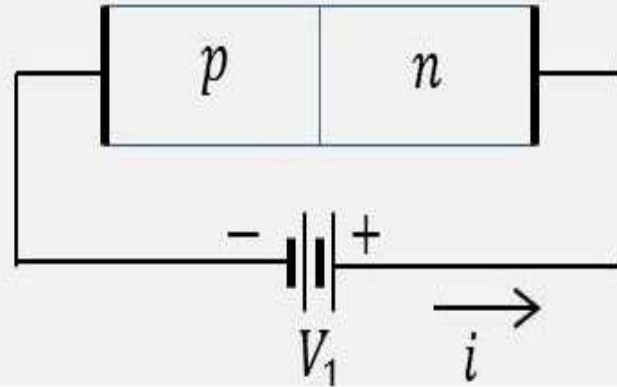


« La science et l'étude donnent du pain et de  
l'honneur »

Proverbe danois ; Les proverbes et dictons du Danemark (1956)



# Chapitre 2 : Jonction PN



# 1. Définition: qu'est-ce qu'une jonction PN?

✓ C'est la juxtaposition de **deux régions semi-conductrices**:

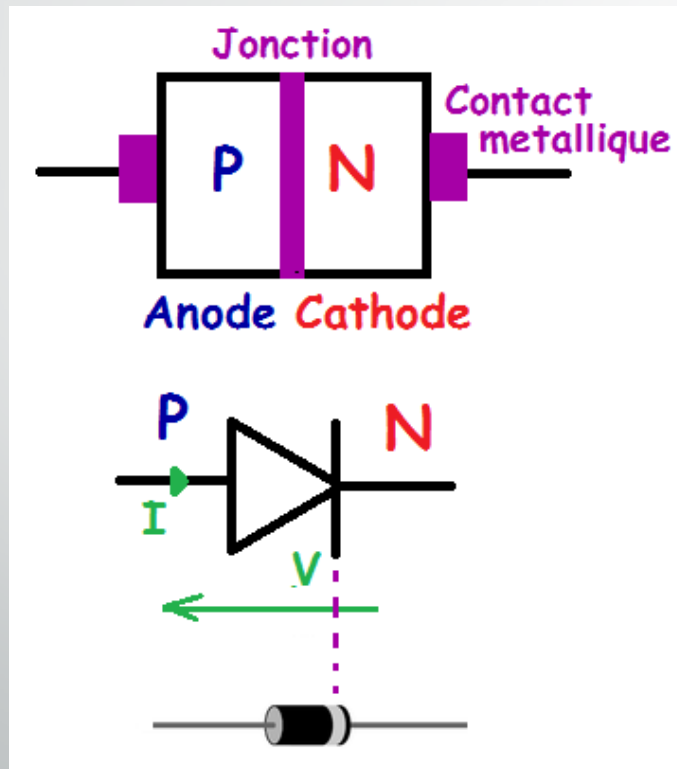
■ L'une **dopée P de densité  $N_A$** , appelée **anode**,

■ l'autre **dopée N de densité  $N_D$** , appelée **cathode**,

✓ La juxtaposition est une **surface plane** appelée **jonction**.

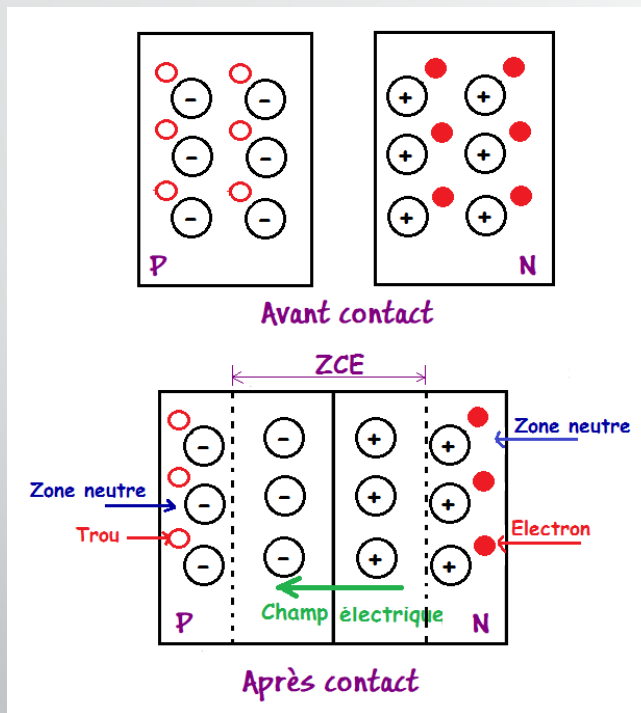
✓ La diode est le **dipôle** réalisée par la jonction des deux semi-conducteurs.

✓ C'est un composant qui ne fait passer le courant que dans **un seul sens**.



## 2. Formation de la ZCE

La juxtaposition de **deux semi-conducteurs N et P** implique un phénomène connu sous le nom de **diffusion/recombinaison**:

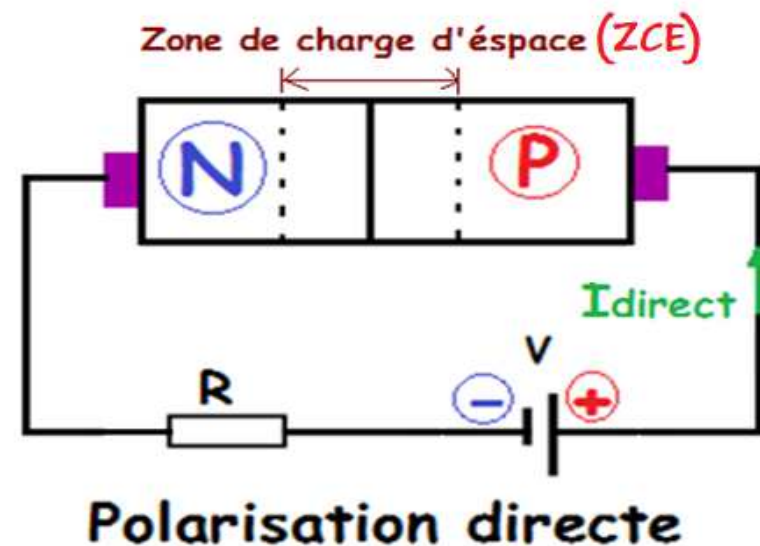


- ✓ Les **e<sup>-</sup> majoritaires du SC N** migrent **vers le SC P** pour se recombinaison avec des trous,
- ✓ En **donnant un e<sup>-</sup>**, les atomes dopés du SC N deviennent **des ions positifs**,
- ✓ De même, **en gagnant des e<sup>-</sup>**, les atomes dopés du SC P deviennent **des ions négatifs**.
- ✓ Il ne reste plus que de **charges fixes**, ce qui crée alors des deux côtés de la jonction **une zone désertée de porteurs libres** appelée **zone déplétée** ou **zone de charge d'espace (ZCE)**.
- ✓ Le reste de la jonction (les 2 côtés N et P) sont globalement neutres.

### 3. Fonctionnement

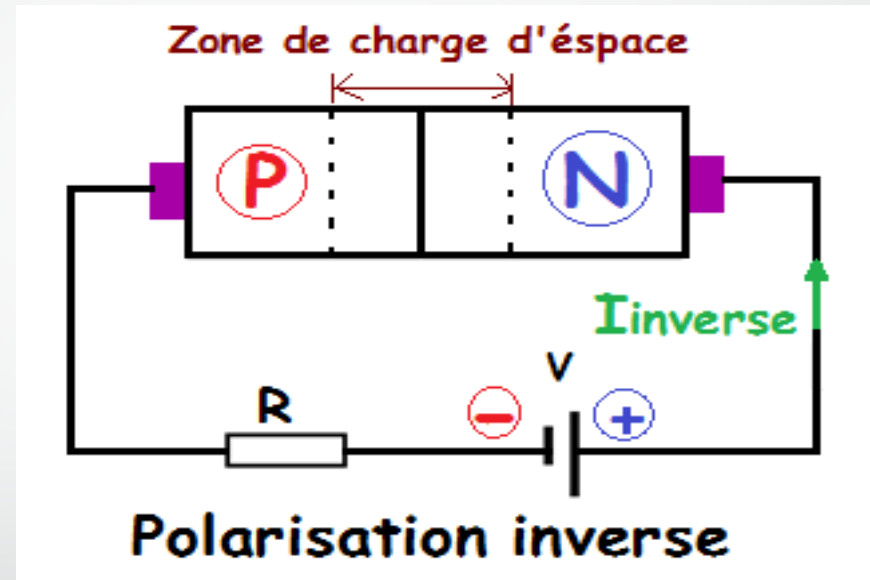
#### Polarisation directe:

- ✓ Une jonction PN est **polarisée** quand on lui applique une tension  $V$  **continue externe**.
- ✓ La polarisation **directe** permet le **passage d'un courant  $I_{\text{direct}}$**  à travers la jonction.



## Polarisation inverse:

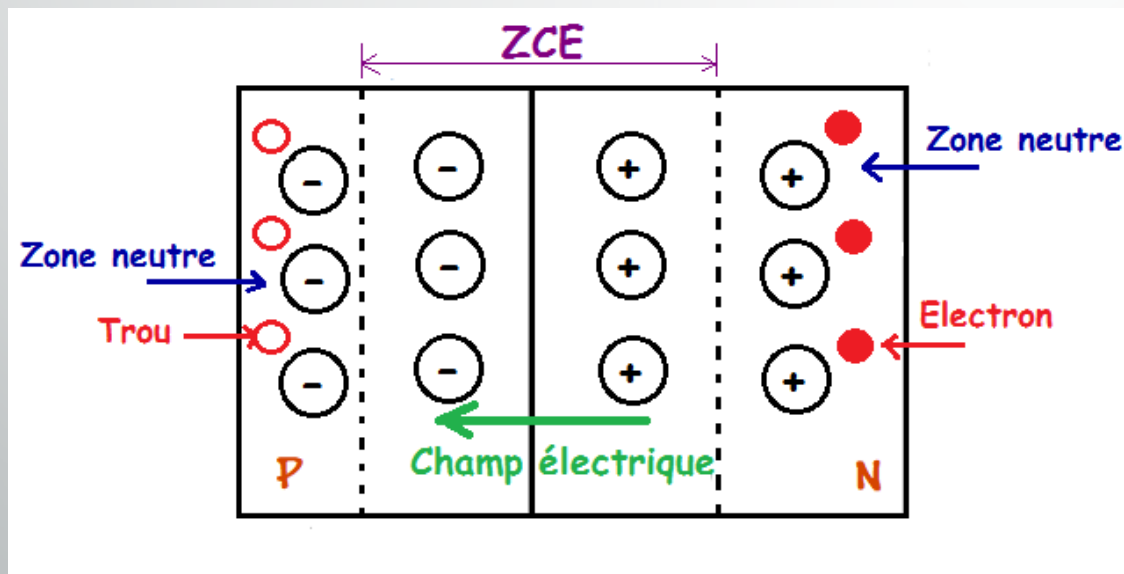
- ✓ Une jonction polarisée en inverse ne fait pas passer le courant électrique.
- ✓ La zone de charge d'espace, appelée aussi zone d'appauvrissement ou encore zone de déplétion, est plus large qu'en polarisation directe.





## Polarisation inverse: élargissement de la ZCE

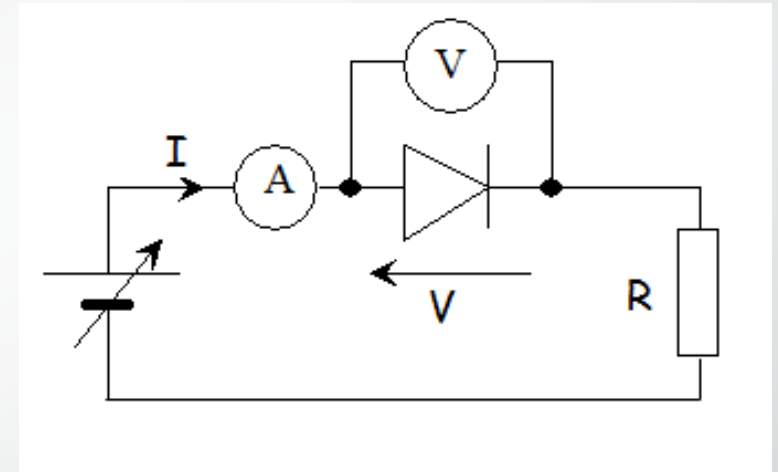
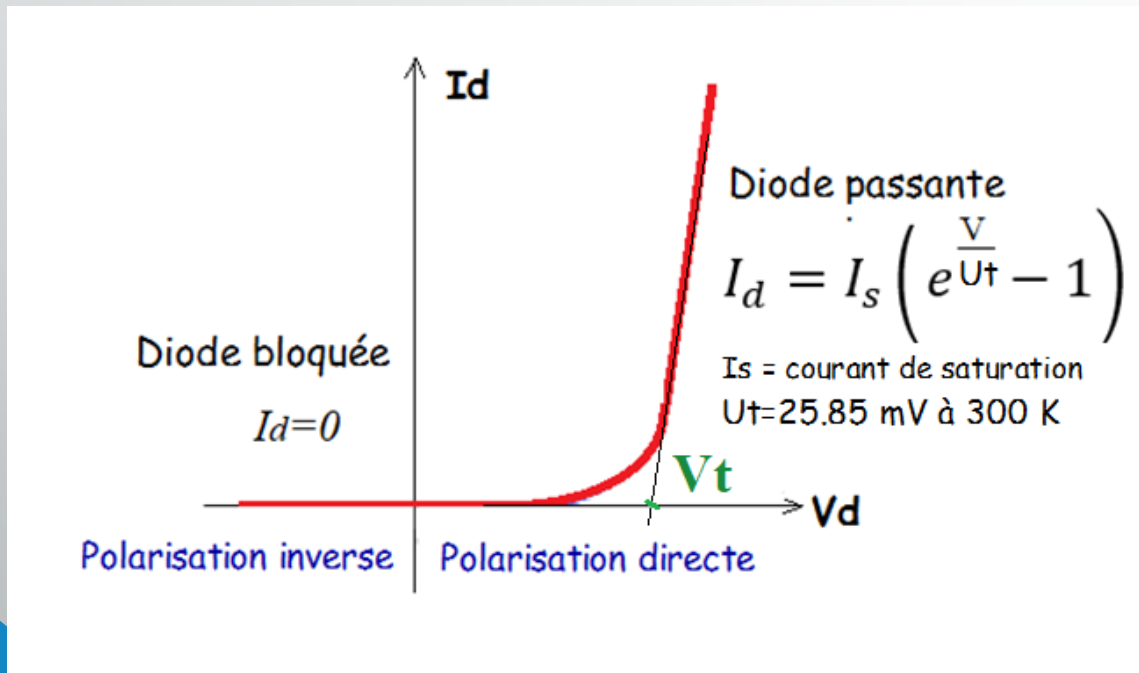
- ✓ On part du principe que les charges de **signe contraire s'attirent**.
- ✓ Les  $e^-$  libres porteurs **majoritaires de la région N** sont attirés par la borne positive de la source loin de la jonction.
- ✓ En conséquence, des **ions positifs supplémentaires sont créés**.



- ✓ De même pour les trous avec la **borne négative**.
- ✓ En conséquence, des **ions négatifs supplémentaires sont créés**.
- ✓ La **ZCE s'élargit** alors avec une réduction du nombre de porteurs majoritaires.
- ✓ La ZCE **s'étend vers la région la moins dopée**.


## 4. Caractéristiques courant-tension

Le courant ne commence à circuler qu'après une certaine tension appelée tension de seuil notée  $V_t$ .



## 5. Utilisations

- ✓ **Circuits de commutation:** pour circuits logiques.
- ✓ **Circuits de redressement:** conversion alternatif/continu.
- ✓ **Circuits d'écrêtage:** limiter l'amplitude d'un signal à une valeur déterminée (protection contre la surtension).
- ✓ **Détection de valeur crête ou d'enveloppe :** lors d'une modulation d'amplitude, par exemple.
  - ✓ **Multiplication de tension**
  - ✓ **Protection** contre la circulation du courant dans le mauvais sens.
  - ✓ .....



« La science est l'œil qui découvre tout, celui qui ne la possède pas est un aveugle »

Proverbe sanskrit ; Hitopadésa - IXème siècle.



# 1. Qu'est-ce qu'un transistor bipolaire?

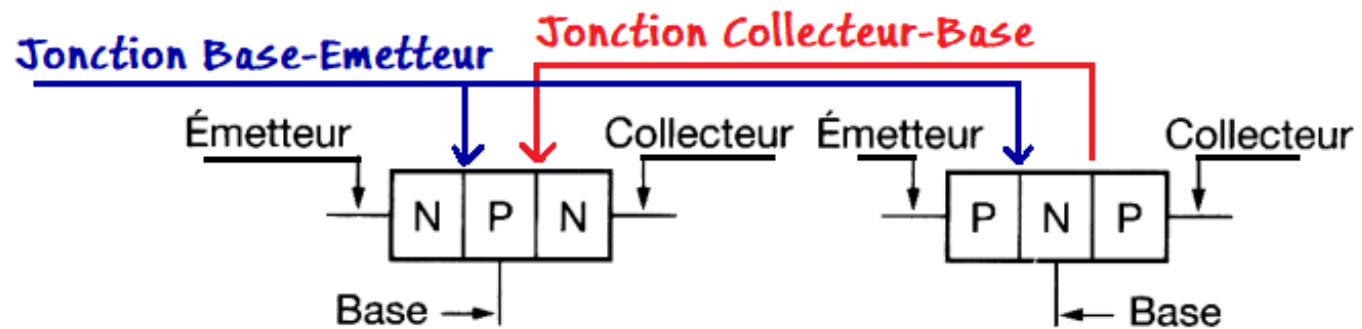
- ✓ C'est un composant **actif**, c.à.d. il permet la **l'amplification ou la transformation de la puissance** d'un signal en courant et/ou en tension.
- ✓ Son fonctionnement est basé sur la juxtaposition **de deux jonctions** en tête bêche.
  - ✓ Une des deux jonctions est polarisée **en direct** et **l'autre en inverse**.
  - ✓ Il possède **trois électrodes**: **émetteur E**, **base B** et **collecteur C**.
- ✓ Il se présente en **deux types**: transistor **NPN** et transistor **PNP**.



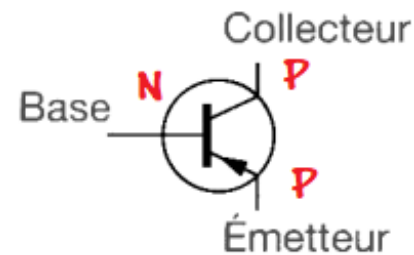
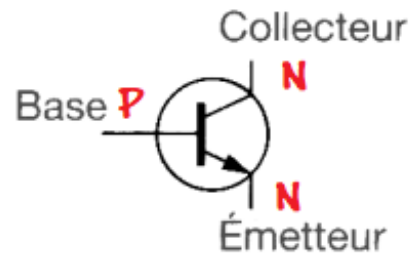
- ✓ Il a **plusieurs applications**:
  - Amplification,
  - Stabilisation de tension,
  - Modulation,
  - Interrupteur commandé...



## 2. Symboles

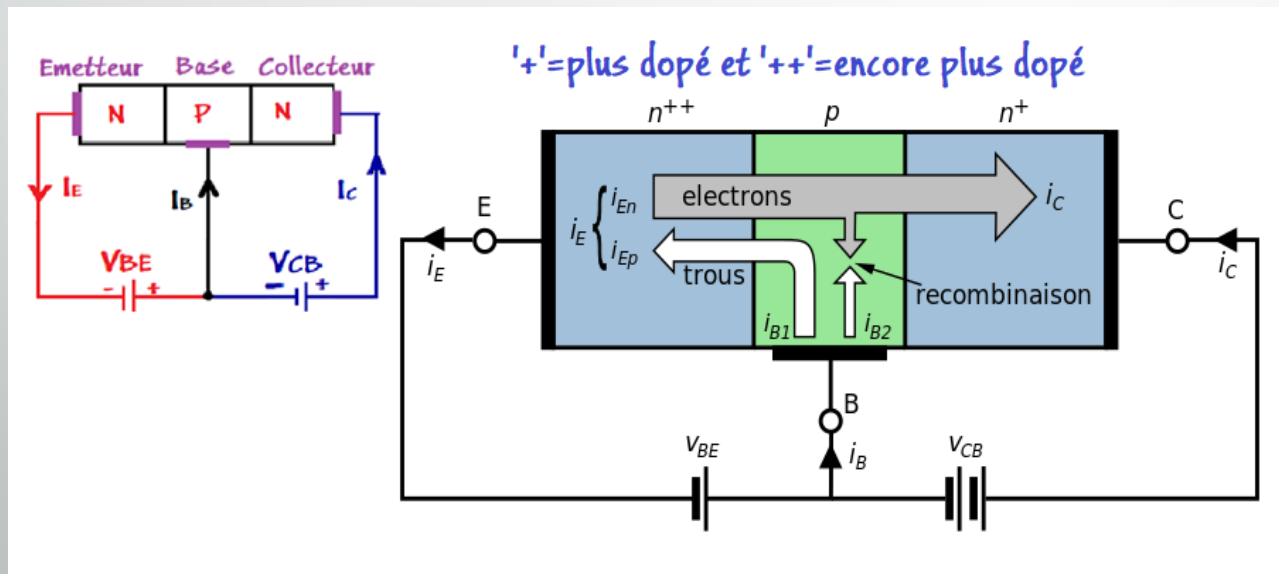


### Symboles



### 3. Principe de fonctionnement: Transistor NPN

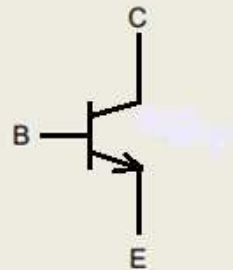
- ✓ La jonction **émetteur-base** est **polarisée en direct**, donc un courant dû à une **injection d'électrons** circule de **l'émetteur vers la base**.
- ✓ La jonction **base-collecteur** est **polarisée en inverse** (le potentiel du collecteur est supérieur à celui de la base), donc les électrons ayant diffusé vers la zone de champ de cette jonction, sont recueillis par le contact collecteur.
- ✓ **En d'autres termes la jonction EB sert à injecter les porteurs alors que la deuxième (BC) sert à les collecter.**



- ✓ Le courant de **la base** est la contribution:
  - du courant **de trous** qui **circule de la base vers l'émetteur**,
  - Et du courant de **recombinaison** (électron neutralisé par un trou) **dans la base.**

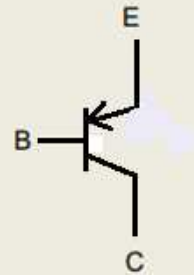
## 4. Mise en équations

Transistor NPN



$$I_C = I_S \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \left( e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

Transistor PNP



$$-I_C = I_S \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \left( e^{\frac{-V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

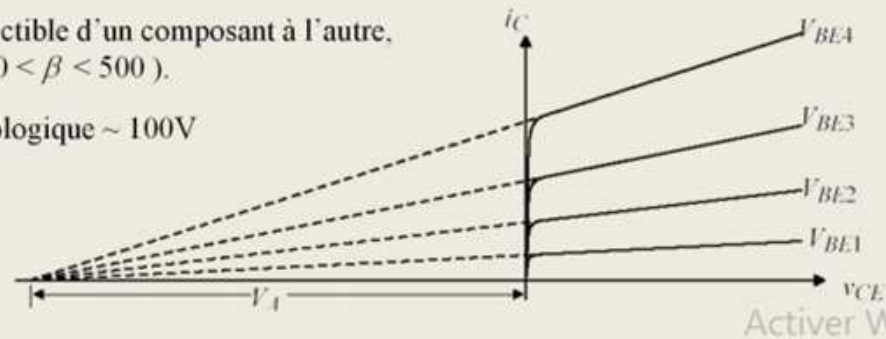
$$V_T = \frac{kT}{q}$$

$I_S$ : Courant de saturation inverse de la jonction émetteur base  $\sim 10^{-14}$ A

$\beta$ : Gain en courant, Très peu reproductible d'un composant à l'autre, Défini par sa valeur minimale ( $20 < \beta < 500$ ).

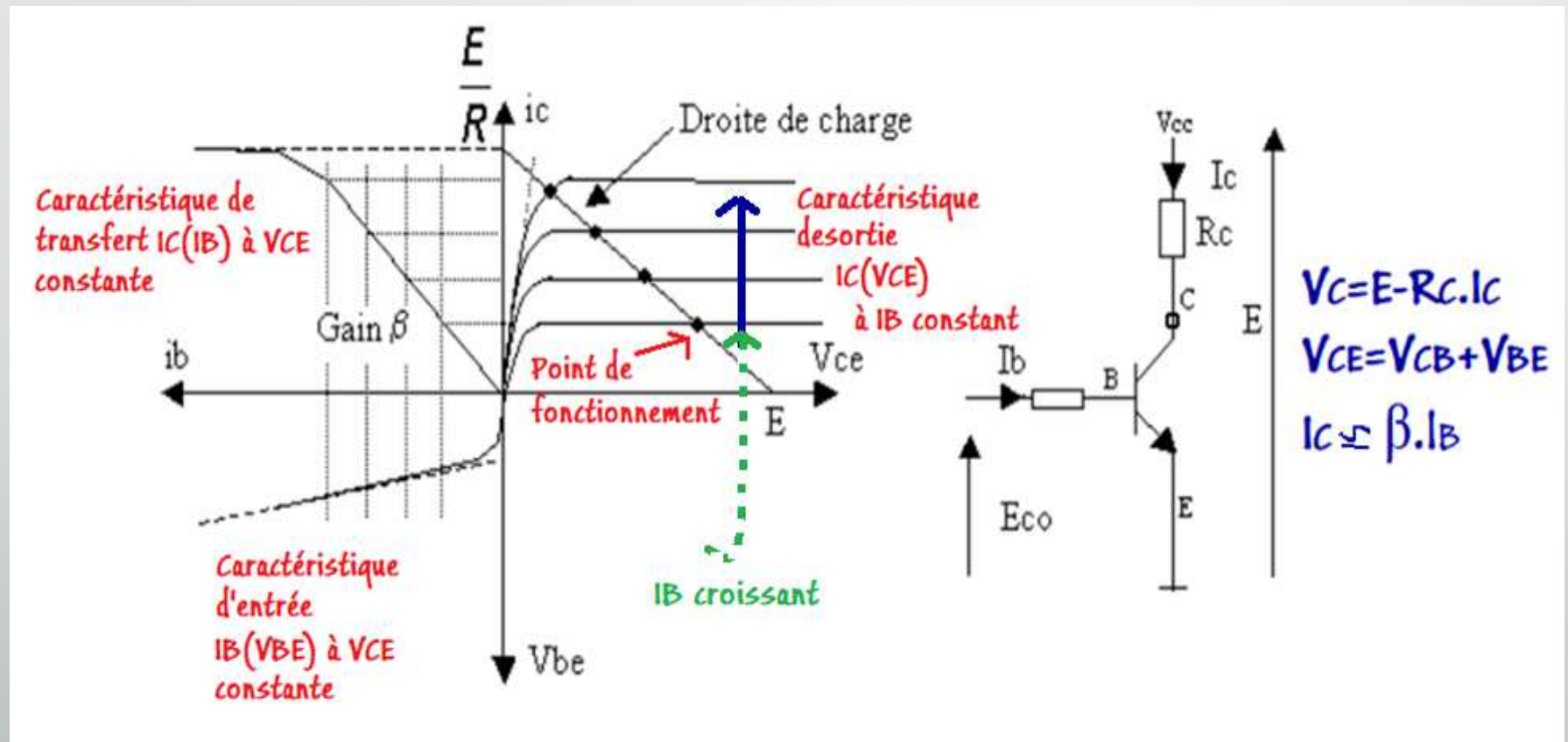
$V_A$ : Tension d'Early, paramètre technologique  $\sim 100$ V

$$V_A = \frac{I_C}{\left( \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \right)_{V_{BE}}} - V_{CE}$$

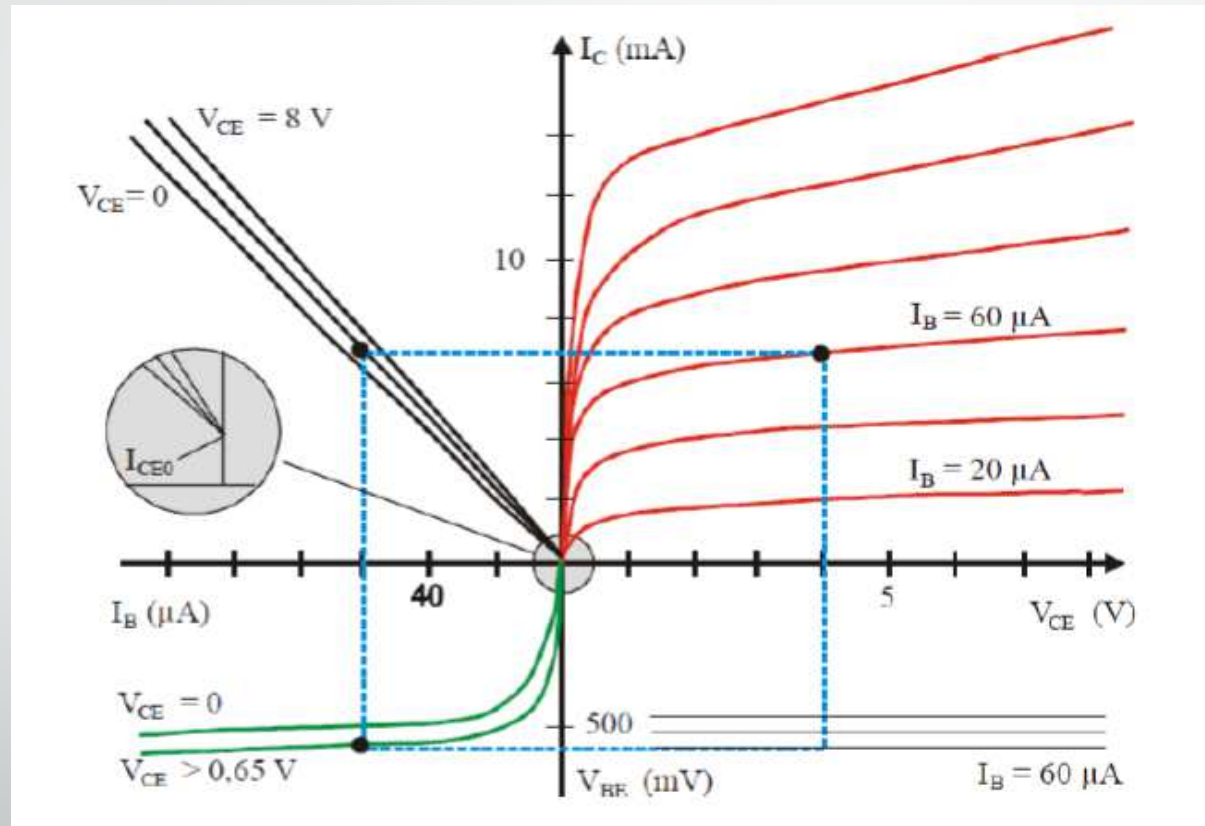


Activeur W

## 5. Réseaux de caractéristiques: Définitions



## 6. Réseaux de caractéristiques: Ordres de grandeurs



## 7. Comment choisir un transistor bipolaire?

Le choix est tributaire **de l'utilisation**. L'on doit tenir compte des paramètres suivants:

- ✓ **Tension de claquage**  $V_{CEmax}$  pour éviter la destruction du transistor,
- ✓ **Courant de collecteur maximal**  $I_{cmax}$  pour éviter la chute du gain en courant  $\beta$ ,
- ✓ **Gain en courant**  $\beta$ ,
- ✓ **Puissance maximale**  $P_{max}$  ( $P_{max} = V_{CE} \cdot I_C$ ) que peut dissiper le transistor,
- ✓ **Tension de saturation**  $V_{CEsat}$  si le transistor sera utilisé en commutation,
- ✓ **Fréquence de coupure**.





« Opinion n'est pas science »

Proverbe basque ; Les anciens proverbes basques et gascons (1845)

# Chapitre 4 : Transistor à effet de champ



# I. Généralités

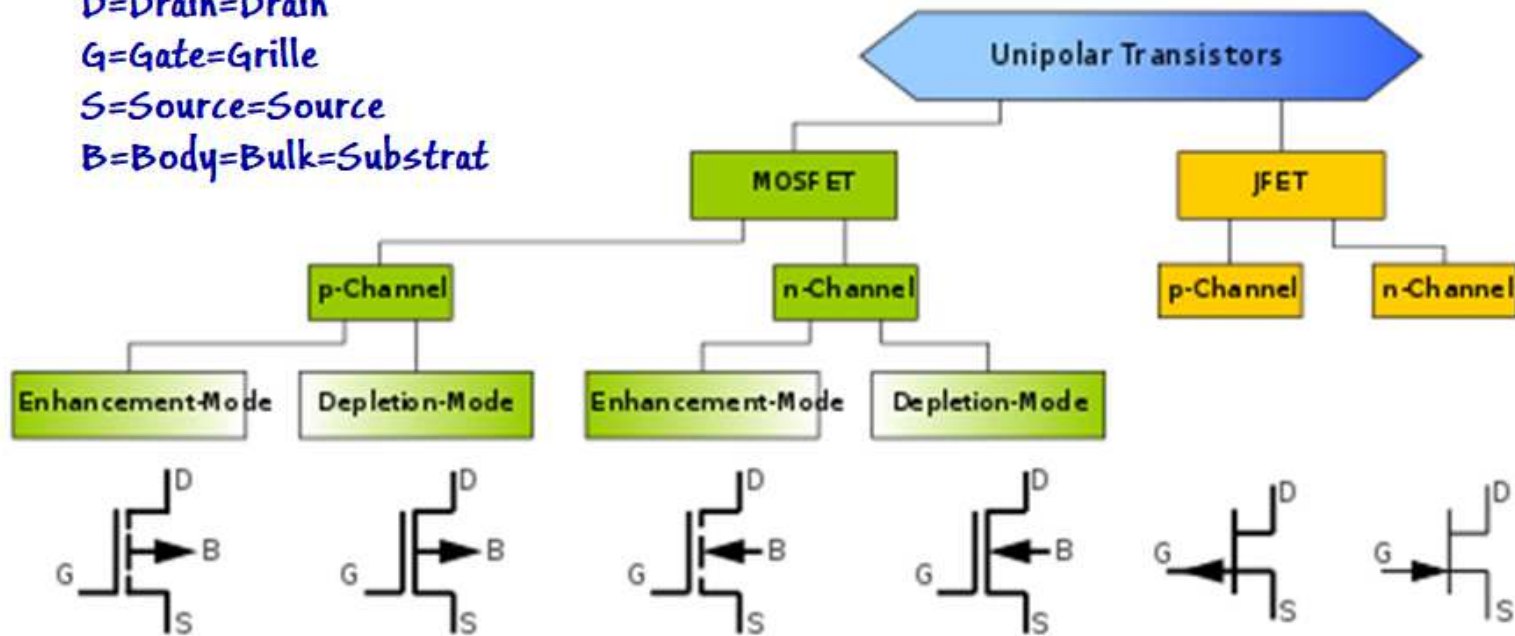
- ✓ Un Transistor à Effet de Champ (TEC) est aussi appelé Field Effect Transistor (FET),
  - ✓ Comme son nom l'indique, un TEC fonctionne sur un principe appelé « effet de champ »,
  - ✓ L'effet de champ est la variation d'un courant électrique au niveau d'une mince couche semi-conductrice sous l'action d'un champ électrique perpendiculaire à cette couche.
  - ✓ En conséquence, la résistance de cette couche se trouve modifiée.
- ✓ Contrairement au transistor bipolaire qui fait intervenir dans son fonctionnement des e- et des e+, le TEC fait appel à un seul type de porteurs; il est unipolaire.
  - ✓ C'est un composant à trois électrodes: la grille, le drain et la source.
  - ✓ La commande de ce transistor se fait par l'application d'une tension à sa grille.

## 2. Fonctionnement

- ✓ Le fonctionnement est basé, comme mentionné plus haut, sur l'effet de champ.
- ✓ Ce champ agit sur un canal, qui n'est qu'un semi-conducteur formé d'un excédent d'un seul type de porteurs de charges mobiles.
  - ✓ Ce champ peut:
    - Permettre la conduction électrique au niveau de ce canal, on parle alors de transistor à enrichissement (enhancement),
      - Réduire la conduction, et on parle de transistor à appauvrissement (depletion)

### 3. Famille de TEC et symboles

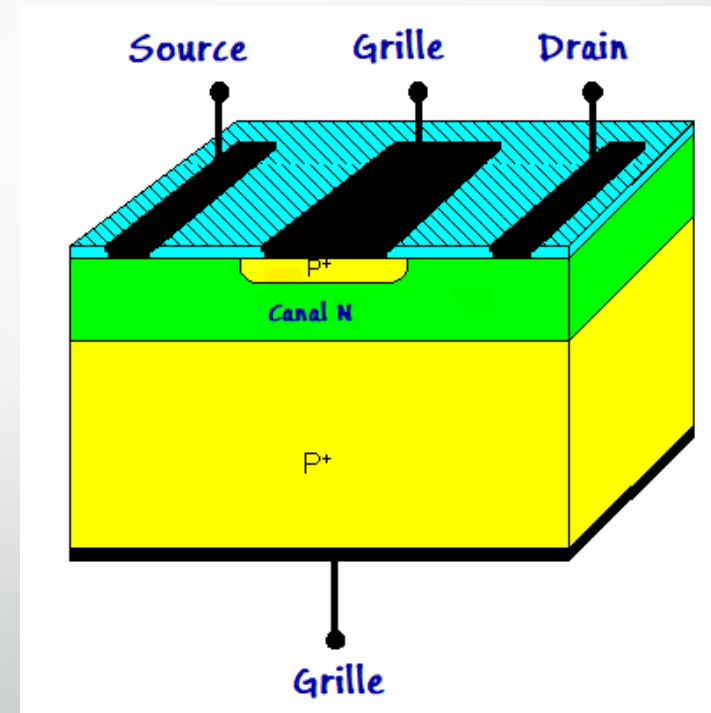
D=Drain=Drain  
G=Gate=Grille  
S=Source=Source  
B=Body=Bulk=Substrat



## 4. Classification

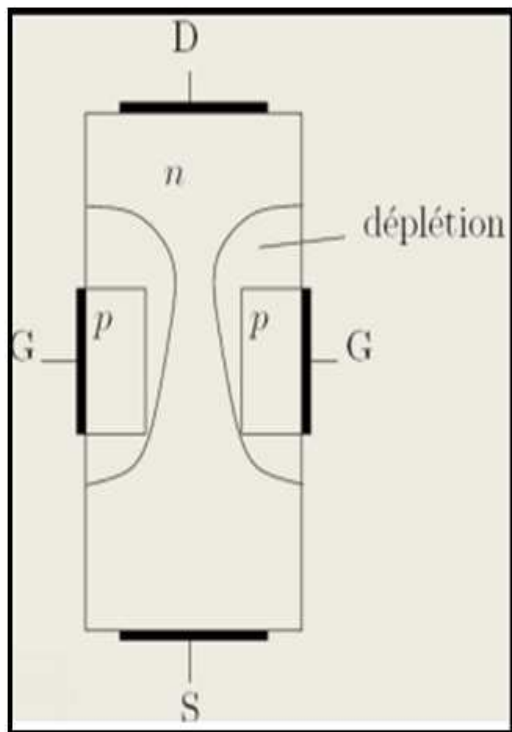
### 4.1. JFET (Jnction FET ou TEC à jonction)

- ✓ Dans ce type de transistor, la grille est reliée au substrat.
- ✓ Dans le cas d'un canal dopé N, le substrat et la grille sont fortement dopés P<sup>+</sup> et physiquement reliés au canal.
- ✓ Le drain et la source sont très fortement dopés N<sup>+</sup> dans le canal, de part et d'autre de la grille.
- ✓ Dans le cas d'un canal dopé P, les dopages ainsi que les tensions de fonctionnement sont inversés.



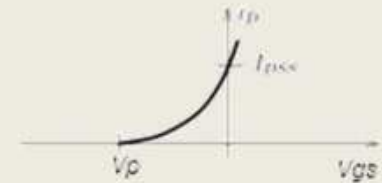


## Courant de drain



- ✓ Le rôle de la grille est de **moduler la largeur du canal**.
  - ✓ Cette modulation est la conséquence de **la polarisation de la jonction pn en inverse**.
- ✓ Le JFET conduit  **$V_{GS}$  est supérieure ou égale à une certaine tension  $V_p$  inverse négative, dite tension de pincement** (pinch voltage).
  - ✓ Le courant est alors:

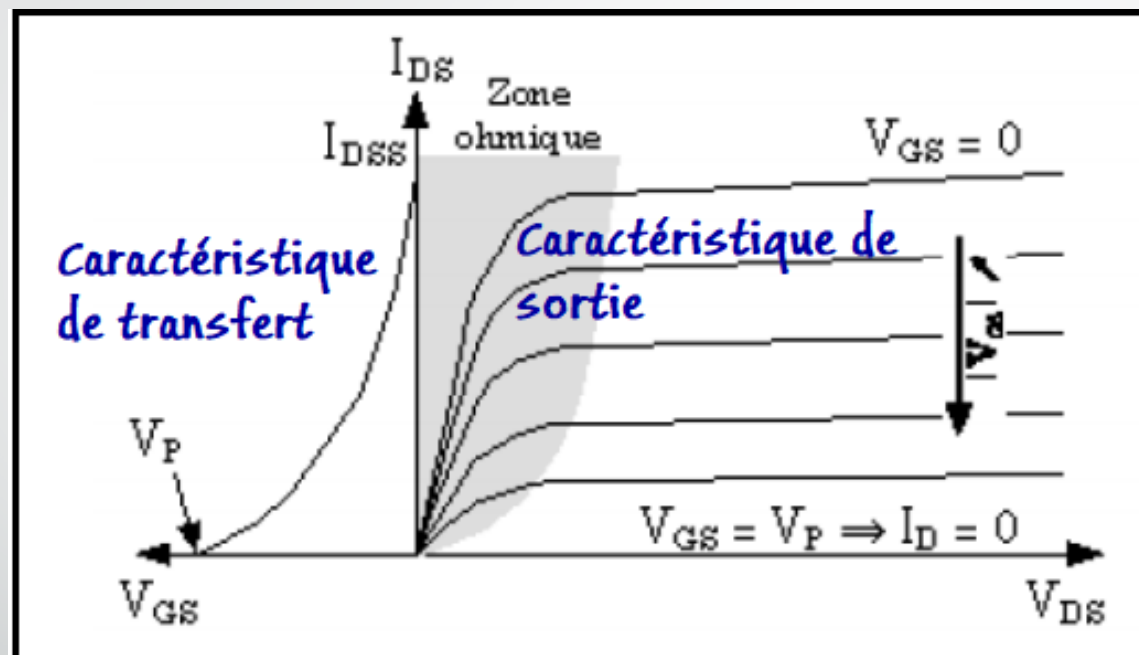
$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{|V_{GS}|}{V_p} \right)^2 \left( 1 + \frac{V_{DS}}{V_{AJ}} \right)$$



Où  $0 \geq V_{GS} \geq V_p$  et  $V_{DS} \geq V_{GS} - V_p$ .  $I_{DSS}$  est le courant à  $V_{GS}$  nul

- ✓ La tension  $V_{AJ}$  est due à la modulation de la longueur du canal de conduction par la tension  $V_{DS}$ . (~150V)

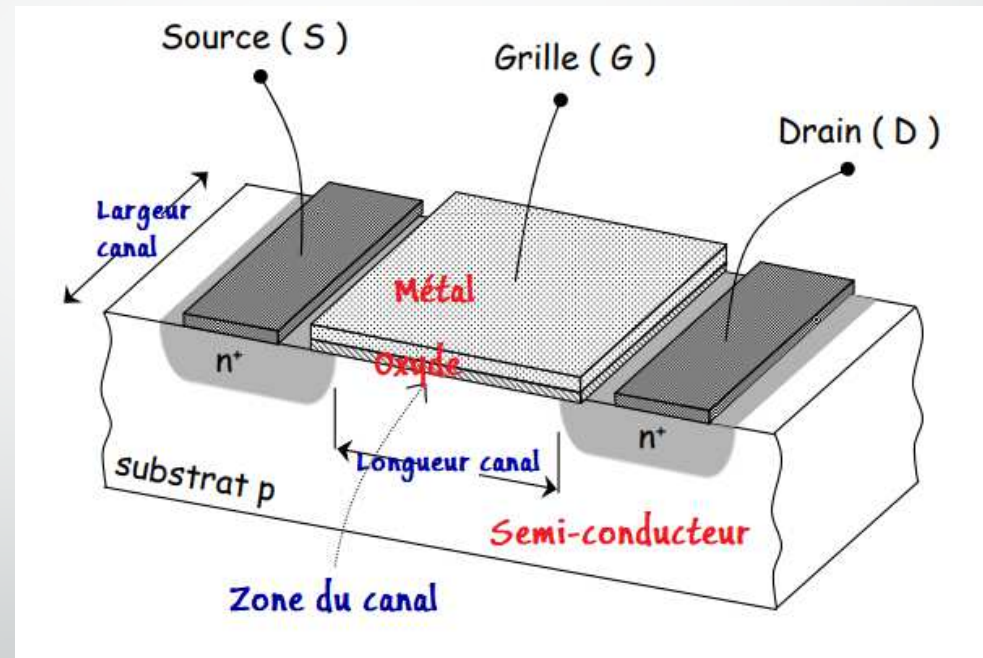
## Réseau de caractéristiques



# 4. Classification

## 4. 2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET ou TEC à structure métal-oxyde-semi-conducteur)

- ✓ Ce type de transistor présente **une grille métallique** électriquement **isolée du substrat** par un diélectrique de type **dioxyde de silicium** ( $\text{SiO}_2$ ).
- ✓ Cette grille métallique est souvent remplacée par **du poly-silicium**.
- ✓ Si le canal créé est de **type n**, le transistor est dit **nmos**
- ✓ S'il est de **type p**, il s'agit d'un transistor **pmos**.



## Régimes de fonctionnement

Régime bloqué :  $V_{GS} < V_T$   $I_D \sim 0$

Régime linéaire (Mode Triode)

$$I_D = K(2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2)$$

Avec  $V_{GS} > V_T$  et  $V_{DS} < V_{GS} - V_T$

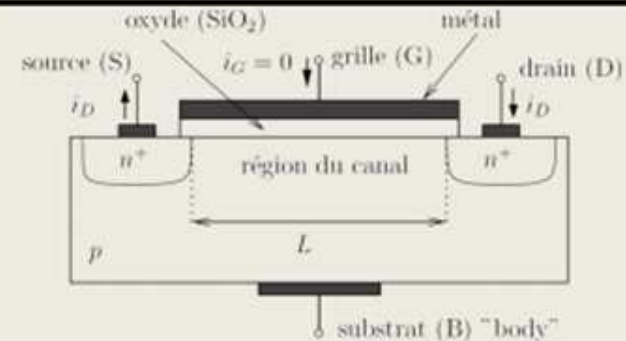
Régime saturé (Mode pentode)

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \left(1 + \frac{V_{DS}}{V_A}\right)$$

Avec  $V_{GS} > V_T$  et  $V_{DS} > V_{GS} - V_T$

$V_A$  : Tension d'Early

$$V_A = \frac{I_D}{\left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}}\right)_{V_{GS}}} - V_{DS}$$



$$K = \frac{1}{2} \mu_{eff} C_{ox} \frac{W}{L}$$

$\mu_{eff}$  : Mobilité des porteurs dans le canal

$C_{ox}$  : Capacité du condensateur de grille

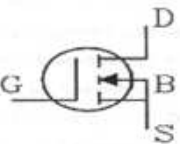
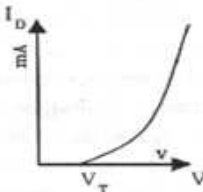
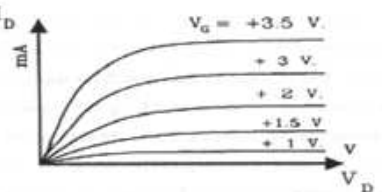

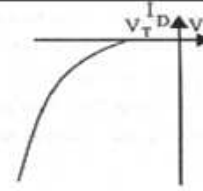
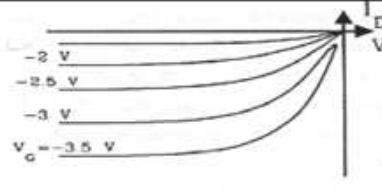

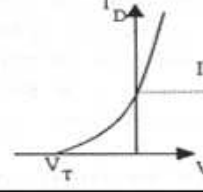
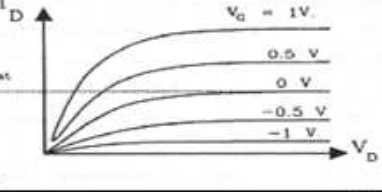

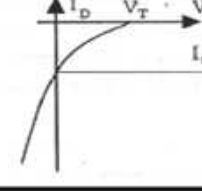
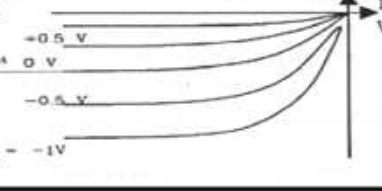
$W$  : Largeur du canal

$L$  : Longueur du canal

**$V_T$  : tension de seuil**

$$I_{DSS} = K V_T^2$$

## 5. Caractéristiques des mosfets

Type transistor et symbole	Caractéristiques:	
	Commande	Sortie
MOS canal N ENRICHISSEMENT 		
MOS canal P ENRICHISSEMENT 		
MOS canal N APPAUVRISSEMENT 		
MOS canal P APPAUVRISSEMENT 		

## 6. Le Bipolaire vs l'Effet de champ

(Entre autres)

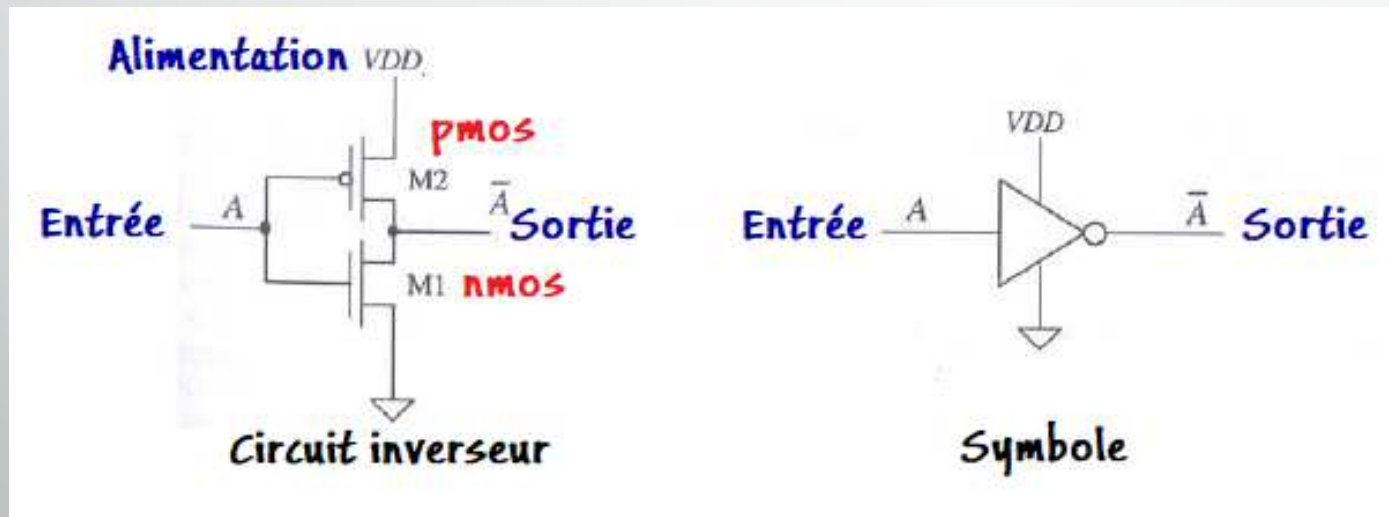
	Bipolaire	Effet de champ
<b>Impédance d'entrée</b>	Faible	Forte
<b>Tension de seuil</b>	Reproductible dans la fabrication de composants discrets	Faible reproductibilité en composants discrets
<b>Contrôle</b>	Par courant	En tension
<b>Consommation de courant en régime tout ou rien</b>	Sérieuse	Pas de consommation en dehors des transistors



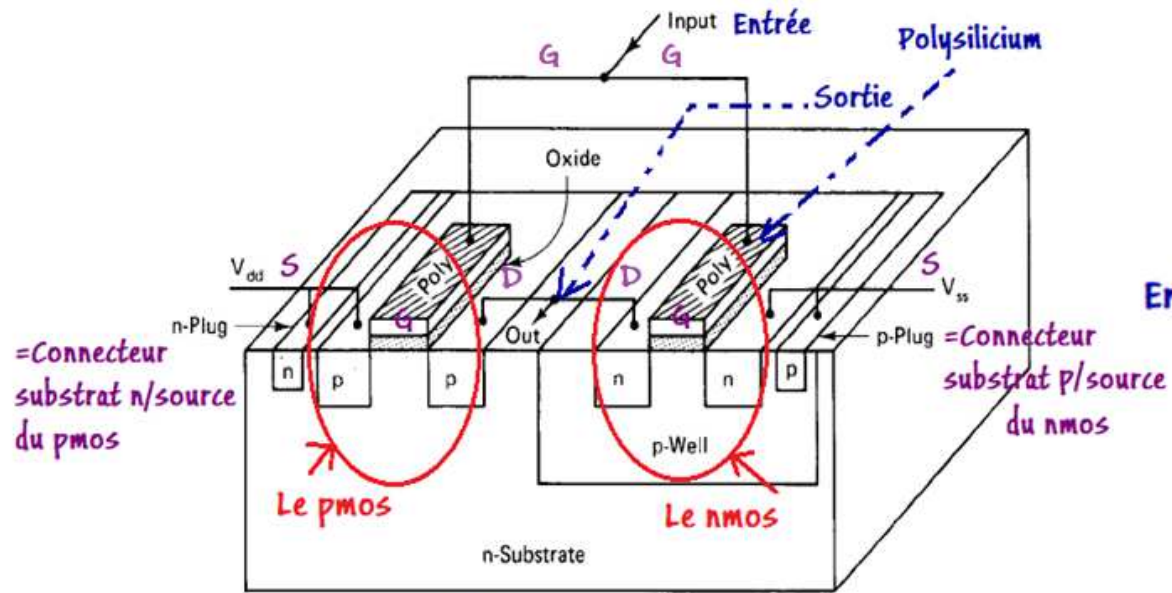
## 7. L'inverseur CMOS (Complementary MOS)

### Présentation

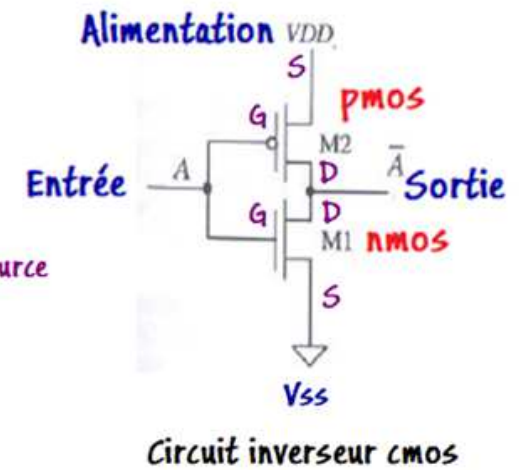
- ✓ La CMOS est une **technologie** dans laquelle les **transistors canal n et canal p sont utilisés**.
- ✓ Il réalise l'opération logique  **$S = \overline{A}$** , inverse de  $A$ , où  $A$  est l'entrée et  $\overline{A}$  la sortie.



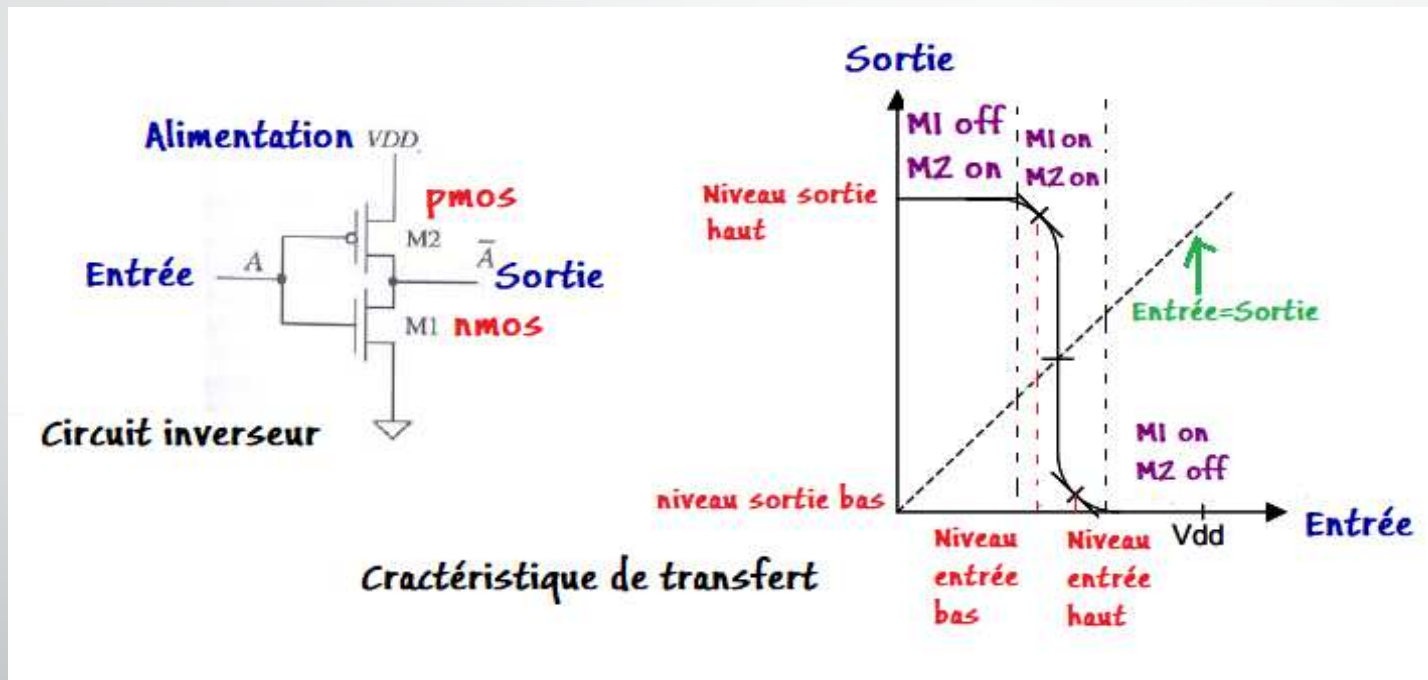
# Structure




Structure de l'inverseur cmos



# Caractéristique de transfert





« Science et vertu honorable, sert contre fortune la  
variable »

Proverbe provençal ; Les proverbes et dictons en langue d'Oc (1820)